

МЕТОДИКА ОЗНАЙОМЛЕННЯ УЧНІВ З АБСОЛЮТНІСТЮ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МІКРОСВІТІ

Віктор СЛЮСАРЕНКО

В даній статті розглянуто специфічність застосування законів збереження в мікросвіті в умовах абсолютності принципів збереження. Також розглянуто історичні аспекти становлення законів збереження в мікросвіті.

In this article the specificity of the application of conservation laws in the microcosm in absolutnosti principles of conservation. It also examines the historical aspects of the formation of conservation laws in microcosm.

Постановка проблеми. Спільність і універсальність законів збереження визначають їх важливе наукове, методологічне і філософське значення. Вони є основою найважливіших розрахунків фізики та її технічних додатків, дозволяють у ряді випадків передбачати ефекти і явища при дослідженні різноманітних фізико-хімічних систем і процесів. Закони збереження є пробним каменем будь-якої загальної фізичної теорії. Несуперечність теорії цих законів служить переконливим аргументом на її користь і є найважливішим критерієм її істинності. Тому в сучасних фізичних теоріях далеко не останню роль відіграє ідея збереження специфічних для даної теорії величин, причому найчастіше пошуки таких величин є найважливішою метою теорії. В них знаходять своє відображення найважливіший діалектико-матеріалістичний принцип незнищенності матерії та руху, взаємозв'язок між різними формами рухомої матерії і специфіка перетворення однієї форми руху в іншу.

Наукове та методологічне значення законів збереження досить повною мірою виявляється на тлі історичного розвитку загальної ідеї збереження. Відкриття та узагальнення законів збереження відбувалося разом із розвитком всієї фізики, від перших здогадок античних натурфілософів через класичну механіку і електродинаміку до теорії відносності, квантової механіки й фізики елементарних частинок.

Аналіз досліджень і публікацій. Стосовно проблем абсолютності законів збереження в мікросвіті є ряд чудових оглядів та монографій, написаних видатними вченими, як вітчизняними, так і закордонними, котрі дозволяють визначити необхідність ґрунтовного дослідження даного питання.

Метою статті є з'ясування особливостей законів збереження, що діють у фізиці мікросвіту; формулювання умовиводів щодо

специфічності законів збереження в теорії елементарних частинок.

Виклад основного матеріалу. Якщо механізм виникнення альфа-і гамма-випромінювання без особливих труднощів був пояснений квантовою механікою, то випускання β -частинок (електронів) виявилось однією з найскладніших для розуміння проблем ядерної фізики. Дійсно, при α -розпаді ядро атома випускає α -частинку, яка представляє собою ядро гелію, що складається з двох протонів і двох нейтронів. Таким чином, при α -розпаді не утворюється нових частинок, оскільки і протони і нейтрони вже були в ядрі. Зрозумілий і процес γ -випромінювання, при якому з ядра вилітала нова частинка - γ -квант (фотон). Це було пов'язано з тим, що шляхом γ -радіоактивності ядро атома звільнялося від надлишкової енергії аналогічно тому, як народжувався фотон в атомі при переході електрона з верхньої орбіти на нижню. Як α -, так і γ -радіоактивність протікала в повній відповідності із законами збереження енергії, імпульсу і моменту імпульсу.

Що ж стосується β -розпаду, то це явище виявилось значно складнішим і поставило перед вченими ряд проблем. Перш за все тому, що при цьому виді радіоактивності з ядра вилітає β -частинка – електрон, який раніше не перебував там. Коли до цього явища були застосовані закони збереження, то виявилася зовсім незвичайна ситуація: енергія, імпульс і момент імпульсу початкового ядра не були рівні, імпульсу і моменту імпульсу продуктів розпаду ядра, котрий знову утворився, та електрона, який вилетів. Баланс зазначених величин не тільки майже ніколи не сходився, але і кожен раз давав різну величину. Ядро одного і того ж радіоактивного ізотопу випускає електрони різної енергії, починаючи від деякого максимального до нульового значення. При цьому виявляється, що утворюється ядро, яке має завжди одну й ту ж енергію. Початкове ж ядро, перетворюючись в результаті радіоактивного розпаду в нове ядро, втрачає одну й ту ж енергію, дорівнює максимально можливій енергії електрона, який вилетів. Виникає, природно, запитання: куди зникає енергія в тих випадках, коли енергія електрона менше максимальної?

Це була аж ніяк не єдина суперечність, яка дає β -радіоактивність. Коли підраховали імпульс вихідного ядра і його момент імпульсу й порівняли з імпульсом і моментом імпульсу ядра та електрона, який знову утворився, то виявилось, що й тут баланс не сходиться. Таким чином, в процесі β -розпаду нібито порушувалися всі три класичні закони збереження, тим часом як у всіх інших відомих явищах мікросвіту вони неухильно дотримувалися.

Для пояснення загадки β -розпаду було запропоновано багато гіпотез, які мають у даний час, лише історичний інтерес. У 1922 році Л. Мейтнер запропонувала наступне: « β -електрони витрачають частину своєї енергії всередині атома, коли пролітають через його електронну оболонку». Ця гіпотеза зазнала суворої дослідної перевірки в 1927 році Ч. Еллісом і У. Вустером, які провели наступний дослід: радіоактивний препарат RaE у товстостінній свинцевій оболонці помістили в мідний калориметр. Кількість енергії, виділеної препаратом за певний проміжок часу, точно вимірювалася. Відповідно до гіпотези Л. Мейтнер слід було очікувати, що середня енергія, яка припадає на один акт розпаду, повинна була б дорівнювати максимальній енергії в β -спектрі. Насправді ж ця енергія виявилася рівною середній енергії, що становить близько однієї третини від величини граничної енергії β -частинок. Ще більш ретельні досліді, здійснені в 1930 році самою Л. Мейтнер спільно з Н. Ортманом, підтвердили результат Ч. Елліса і У. Вустера. Таким чином, знову було встановлено, що частина енергії ядерного перетворення безслідно зникає.

Єдиним виходом з положення було припущення про те, що в процесі β -розпаду порушується закон збереження енергії. Саме такий вихід і у 1930 році запропонував Н. Бор. Гіпотеза Н. Бора полягала в припущенні, що закон збереження енергії порушується в елементарних актах β -розпаду, але виконується статистично для досить великої кількості таких актів. Для вирішення однієї проблеми Н. Бор пропонував таку велику жертву, що коли б вона виправдалася, то це означало б по суті крах не тільки фізики, але і всього природознавства в цілому. Тому що з моменту визнання закону збереження і перетворення енергії як основи фізичного природознавства науці не був відомий жоден факт, який суперечив би цього закону. Після досліджень А. Комптона та інших фізиків не було сумнівів у виконанні цього закону і в області мікросвіту. Гіпотеза Н. Бора про статистичне виконання закону збереження енергії в β -розпаді була спростована в 1933

році дослідями Ч. Елліса і Н. Мотта. Відразу ж після появи вона зустріла заперечення фізиків. Один з основоположників сучасної теорії β -розпаду швейцарський фізик В. Паулі писав: «На мій погляд, ця гіпотеза не тільки незадовільна, але навіть неприпустима. Перш за все, в цих процесах електричний заряд зберігається, а я не бачу підстав вважати збереження заряду більш фундаментальним, ніж збереження енергії і імпульсу» [5, с. 17].

У 1931 році на фізичній конференції в Пасадені В. Паулі доповів вченим про свою інтерпретацію β -розпаду: «Закони збереження виконуються, так як випускання β -частинок супроводжується проникаючою радіацією з нейтральних частинок... Сума енергій β -частинки і нейтральної частинки, випущених ядром в окремому акті, дорівнює енергії, що відповідає верхній межі β -спектру. Варто розуміти, що ми допускаємо в усіх елементарних процесах не тільки збереження енергії, а й збереження імпульсу і моменту імпульсу» [5, с. 23]. Оскільки в результаті β -розпаду заряд ядра змінюється на одиницю, передбачувана частка повинна бути електрично-нейтральною. Такою частинкою міг би бути і фотон, але цю можливість заперечував дослід Ч. Елліса і У. Вустера. Маса ядра при β -розпаді практично не змінюється, і тому частинка повинна була мати мізерно малу масу. Таким чином, постульовано В. Паулі частинка по своїм властивостям відрізнялася від відомих на той час частинок. Пізніше вона була названа нейтрино. Введення цієї гіпотетичної частинки пояснювало парадокси β -розпаду. Зазначені властивості нейтрино приводили до того, що воно абсолютно вільно проходило крізь стінки приладів, не відчуваючи електромагнітних взаємодій.

Гіпотеза нейтрино дозволила також відстояти і закон збереження моменту імпульсу в ядрі. Труднощі з цим законом виникли в 1932 році, коли В. Гейзенбергом і Л. Іваненко була запропонована нейтронно-протонна схема будови атомів ядра. Відповідно до цієї схеми електронів, у ядрі їх не повинно бути, вони народжуються в процесі β -розпаді. Теорія ядра приводила до висновку, що спіні вихідного ядра в одиницях $\hbar/2$ β повинен виражатися цілим числом. Тим часом спіні електрона дорівнює половині, а орбітальний момент кількості руху електронів міг бути тільки цілим числом $\hbar/2$ β . Тому виходило, що в результаті β -розпаду цілий спіні ядра повинен був би переходити в напівцілий і навпаки. Це означало порушення закону збереження моменту імпульсу. Ця суперечність нині усувалась, якщо нейтрино приписати напівцілий спіні ($1/2$).

Таким чином, відповідно до гіпотези Паулі нейтрино стало тією частинкою, яка компенсувала як відсутню енергію, так і спіні. В подальшому було уточнено і закон збереження імпульсу на основі припущення, що імпульс ядра віддачі має дорівнювати за величиною і спрямований протилежно сумарному імпульсу електрона і нейтрино.

В одному зі своїх пізніших виступів В. Паулі підкреслив, що він завжди був проти того, щоб вирішувати будь-які фізичні проблеми шляхом відмови від закону збереження енергії: «По-перше, я вважаю, що аналогія між законами збереження енергії і збереження електричного заряду має глибоке значення і може бути надійним стержнем. Навряд чи можна, відмовившись від закону збереження енергії, зберегти закон збереження електричного заряду, а цей останній закон ніколи ще не призводив до жодних ускладнень. Тому я з самого початку відмовлявся вірити в порушення закону збереження енергії» [5, с. 49].

У 1934 році італійський фізик Е. Фермі на основі гіпотези про нейтрино і протонно-нейтронної схеми будови атомного ядра створив теорію β -розпаду, яка успішно пояснила всі основні риси цього процесу. У наступні роки багато зусиль було витрачено на експериментальне доведення існування нейтрино. Спочатку ці докази були отримані побічно, а в період 1953-1955 років шляхом постановки досить складних експериментів американські фізики Ч. Коуен і Ф. Райнес виявили нейтрино у вільному стані. Вирішення проблеми β -розпаду остаточно переконало вчених у тому, що класичні закони збереження енергії, імпульсу і моменту кількості руху виконуються так само неухильно у мікросвіті, як і в макросвіті. Що стосується інших двох законів збереження - маси та електричного заряду, то їх виконання у мікросвіті не викликало сумнівів починаючи з 1919 року, коли Е. Резерфорд зробив перше штучне розщеплення атомного ядра азоту, бомбардуючи його β -частинками.

Квантова механіка розкрила специфічні закономірності руху і перетворення так званих елементарних частинок. Ці закономірності не зводяться до закономірностей класичної механіки, і тому природно очікувати, що у мікросвіті поряд з класичними законами збереження повинні діяти свої закони збереження. Відкриття цих законів пов'язано з розвитком наших знань про властивості елементарних частинок.

У зв'язку зі спробами пояснити, чому одні перетворення елементарних частинок можливі, а інші ні, було також узагальнено і поняття електричного заряду. Ю. Вігнер ввів поняття

«баріонів числа» як квантового числа, що дорівнює 1 для нуклонів, -1 для антинуклонів і 0 для β -мезонів. Фізична природа збереження баріонів числа в даний час не з'ясована, оскільки невідомі ті властивості симетрії, які обумовлюють дію цього закону. Для легких частинок (лептонів) введено аналогічне поняття лептонного числа, закон збереження якого виконується тільки в слабких взаємодіях. Також мають місце і закони збереження ізотопічного спіна і закон збереження «дивності».

Можна з повним правом стверджувати, що на сучасному рівні розвитку схема «принцип симетрії - інваріантність - закон збереження» перетворилася на керівний принцип і є найбільш повним вираженням ідеї збереження. Сучасний фізик, досліджуючи явища у світі елементарних частинок, вважає свою роботу завершеною, якщо він може сформулювати закономірності експериментального матеріалу в короткій формі законів збереження». Потрібно також відзначити, що принципи симетрії у мікросвіті є більш складними і глибокими, ніж у макросвіті. Проте, той факт, що у мікросвіті виконуються всі класичні закони збереження, очевидно, вказує на те, що властивості симетрії простору-часу в масштабах мікросвіту принципово не повинні відрізнятися від їх властивостей у макросвіті.

Важливо також відзначити і таку обставину. Теоретичною основою виведення законів збереження класичної фізики були закони Ньютона. Величини, що зберігаються в даних законах, фігурують в якості основних характеристик рухомого тіла або системи. Висновок цих законів із принципів симетрії: логічне завершення тривалої еволюції фізики протягом століть. Найважливіший урок цієї еволюції: з'явився більш глибокий підхід до законів збереження, який повністю виправдав себе у фізиці мікросвіту. Виявилось, що закони збереження можна отримувати безпосередньо з принципів симетрії, міняючи закони руху.

Закон збереження і перетворення енергії, закон збереження імпульсу, закон збереження моменту кількості руху та закон збереження електричного заряду, так само як і закон збереження маси, можна вважати законами збереження, що мають силу як в області макросвіту, так і в області мікросвіту. Це - закони збереження, що мають максимальну ступінь спільності.

Відкриття Ч. Янга вперше показало, що поряд із загальними законами збереження існують і закони збереження з обмеженою сферою дії. Це - закони збереження парності, ізотопічного спіна, дивності, які виконуються не при всіх видах взаємодій [7, с. 66].

Відкриття порушень законів збереження в деяких явищах мікросвіту ставить по-іншому питання про абсолютизації цих законів. Абсолютними виявляються не закони збереження, а сама ідея збереження. Саме з таких позицій і підходить до цього питання Н. Ф. Овчинников: «Абсолютність принципів збереження полягає не в тому, що той чи інший принцип збереження не викликає сумніви в його спільності і є абсолютно суворим на вічні часи, а в тому, що будь-який загальний принцип збереження при його можливому порушенні в будь-якій області природи змінюється іншим принципом, що діє в цій області. Можна сказати, що абсолютний не той чи інший конкретний закон збереження, а абсолютна ідея збереження: жодна область природи не може не містити стійких, що зберігаються, речей, властивостей або відносин, і, відповідно, жодна фізична теорія не може бути побудована без тих чи інших повноважень, в яких зберігаються величини. Впевненість у абсолютності принципів збереження веде нас до визнання необхідності суворої перевірки всіх відомих законів, до можливості й навіть неминучості сумнівів в їхній спільності, якщо це буде диктуватися новими несподіваними фактами науки, яка постійно розвивається. Такого роду сумнів, якщо він виправдовується, може лише послужити початком розвитку нових напрямків, нових фізичних теорій» [4, с. 234].

Висновок. Якщо класична фізика знала тільки п'ять законів збереження, то фізика мікросвіту налічує їх більше десяти. Ця велика кількість законів збереження в сучасній фізиці пов'язана з одного боку, з тим, що закон збереження є найбільш загальним виразом великої кількості експериментальних фактів, а їх в даний час тільки в галузі фізики

елементарних частинок є безліч. З іншого боку, можна вважати, що велика кількість законів збереження пов'язана з недосконалістю наших знань щодо процесів на елементарному рівні матерії. В майбутньому, ймовірно, виявиться, що багато законів збереження взаємопов'язані і є наслідком якоїсь ще більш загальної симетрії простору і часу. Проте зараз вони виступають як незалежні, і їх вивчення є основним напрямком сучасних наукових досліджень.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бор Н. Избранные научные труды. — Т. 1. — М.: Наука. — 1970. — С. 559.
2. Вульфсон К. Рассеяние фотонов и законы сохранения энергии и количества движения. — УФН. — Вып. 1. — 1937. — С. 99.
3. Гельфер Я.М. Законы сохранения. — М.: Наука, 1967. — С. 245.
4. Овчинников Н.Ф. Принципы сохранения. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». — 2009 — С. 336.
5. Паули В. Мезонная теория ядерных сил. — М.: Государственное издательство иностранной литературы. — 1947. — С. 80
6. Франкфурт У.И. Закон сохранения и превращения энергии. — М.: Наука, 1978. — 192 с.
7. Янг Ч. Элементарные частицы. — М.: Наука, 1963. — С. 58-59.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Слюсаренко Віктор Володимирович — завідувач лабораторіями методики викладання фізики кафедри фізики та методики викладання КДПУ ім. В. Винниченка.

Коло наукових інтересів: закони збереження в шкільному курсі фізики.